

Onko elämä tullut avaruudesta?

Kari Lounamo ja Tamara Tuuminen

Aiemmin elämän uskottiin alkaneen maan pinnalla omin avuin. Viime tiedon mukaan elämään johtaneet orgaaniset molekyylit ovat syntyneet avaruudessa ja sataneet sieltä maahan. Siten ensimmäiset kemialliset reaktiot, jotka johtivat elämään maapallolla, luultavasti tapahtuivat ennen kuin maapallo oli muodostunutkaan (Jewell 2006).

Vuonna 1996 Yhdysvaltojen presidentti Bill Clinton piti televisiopuheen sen johdosta, että etelänavalta löytyneestä Marsista tulleesta kivestä oli löytynyt merkkejä elämästä. Kivessä oli bakteerin kaltaisia muotoja, aminohappoja ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (Clinton 1996).

Syyskuussa 2010 löydettiin tähän saakka kaikkein eniten Maata muistuttava planeetta, Gliese 581 g. Se sijaitsee 20 valovuoden päässä Maasta. Sillä on ilmakehä, vettä ja painovoima 1 g eli sama kuin Maassa. Sillä on koko ajan sama puoli kääntyneenä aurinkoaan päin niin, että aurinkopuolen arvioitu lämpötila on -12 °C ja pimeä puoli -31 °C. Ilmakehä voi kuitenkin nostaa lämpötilaa tuntuvasti. Planeetan löytäneen astronomiryhmän johtaja Steve Vogt sanoi: ”Elämän mahdollisuus tällä planeetalla on melkein 100 %” (Overbye 2010).

Panspermia

Panspermia-teorian mukaan elämän ainesosia on kaikkialla ja ihmiset saavat kiittää syntyään ja evoluutiotaan vieraiden mikrobien jatkuvaa sadetta. Tätä ei aikaisemmin katsottu tieteelliseksi hypoteesiksi, mutta nyt varovaisesti se katsotaan mahdolliseksi. Louis Pasteurin mielestä elämä ei ole voinut alkaa maapallolla spontaan-

nisti. Fyysikko Kelvin ja muutamat muut hypäsivät Pasteurin kyytiin arvelleen elämän tulleen maahan avaruudesta. Kreikkalainen filosofi (500–428 eKr.) Anaxagoras kirjoitti elämän olevan yleistä maailmankaikkeudessa.

Miten mikrobit pääsevät planeetalta avaruuteen? Kaksi teoriaa on esitetty. Yläilmoissa leijuvia mikrobeja voi vetää avaruuteen jonkin muun kappaleen painovoima. Maan stratosfääristä 41 kilometrin korkeudesta on löydetty bakteerit *Bacillus simplex*, *Staphylococcus pasteurii* ja sieni *Engyodontium album* (Wainwright ym. 2002). Todennäköisemmin planeetan bakteerit sinkoutuvat avaruuteen, kun planeettaan iskeytyy meteori, joka sinkoaa planeetan pinnalta materiaalia avaruuteen. Kun Jupiteriin osui meteori, se sinkosi Jupiterin pinnalta materiaalia satojen kilometrien korkeuteen huolimatta Jupiterin voimakkaasta painovoimakentästä (Shoemaker ym. 1993). Vuonna 1969 Australiaan pudonneesta Murchison-meteorista löytyi aminohappoja ja muita orgaanisia yhdisteitä.

Litopanspermia

Fyysikko Paul Daviesin mukaan mikrobit voivat siirtyä avaruudessa paikasta toiseen vain kivenlohkareiden sisällä. Hän hylkää idean, että yksittäiset mikrobit vaeltaisivat alastomina avaruudessa, kuten panspermian kannattajat esittävät. Hänen mielestään on epätodennäköistä, että elämä voisi hypätä aurinkokunnasta toiseen alttiina säteilylle. Kuljetus on mahdollista kivenlohkareiden sisällä, mutta mahdollisuus, että maasta irronnut lohkar koskaan saavuttaa maan kaltaisen planeetan, on äärettömän pieni.

Maassa magneettikenttä ja ilmakehä suojaavat mikrobeja säteilyltä. Avaruudessa ei ole suojaavaa säteilyltä. Avaruudessa kulkevaan meteoriit-

tiin tulee säteitä kuin kosminen tykistö ampuisi sitä. Jos meteoriitissa matkustaa mikrobi, säteily vaurioittaa sen DNA:ta ja tuhoaa lopuksi DNA:n, kun iskuja tulee tarpeeksi. Tutkijoiden mielestä itiön, siemenen, bakteerin tai muun organismin pitää avaruudessa olla ainakin kolmen metrin kokoisen kiven sisällä välttyäkseen säteilyltä. Silloinkin on ongelma, miten sellainen tähteä kiertävä kivi on lähtenyt avaruusmatkalle. Ainoa mahdollisuus ovat tähtien väliset painovoimavaikutukset eli sama mekanismi, jolla muun muassa *Voyager*-avaruusalus singottiin ulkoavaruuteen aurinkokunnastamme.

Panspermian kannattaja N. C. Wickramasinghe on sitä mieltä, etteivät kaikki mikrobit paljaana avaruudessa kulkiessaan säily hengissä, mutta pienikin mikrobimäärä aurinkokunnasta toiseen riittää siirtämään elämää (Britt 2000).

Seuraavassa käsitellään, löytyykö näihin väitteisiin katetta.

Vesi on elämän paras ympäristö

Nestemäinen vesi on olennainen kaikelle elämälle Maan pinnalla ja avaruudessa. Vesi on sulana lämpötila-asteikolla 0–100 °C. Vedessä entsyymit pystyvät parhaiten liikkumaan. Kun vesi jäätyy, se laajenee ja tulee kevyemmäksi jääden pinnalle. Kun muut nesteet jäätyvät, ne tiivistyvät ja muuttuvat painavammiksi vajoten pohjaan. Tällöin koko vesistö muuttuu vähitellen umpijääksi tehden elämän mahdottomaksi.

Ammoniakki on avaruuden yleisin ei-vesipeäinen liuotin. Se on sulana -78 °C:n ja -33 °C:n välillä eli vain 30 asteen rajoissa. Metaani on sulana -182 °C:n ja -162 °C:n välillä. Etaani on sulana -182 °C:n ja -89 °C:n välillä. Eli muut avaruuden yleiset nesteet ovat sulana vain ”pakkasen puolella”, jolloin kemialliset reaktiot tapahtuvat hitaasti.

Vuonna 2000 auringon ohittanut Linear-komeetta hajosi palasiksi. Tutkimusten mukaan siinä oli isotoopeiltaan samankoosteista vettä kuin maapallolla. Löydös tukee arviota, että maapallon vesi on peräisin avaruudesta saapuneista meteoreista, jotka pommittivat maapalloa sen alkuvaiheessa. Aurinkokuntamme reunoilla olevien meteorien jäätyneen veden isotoopit ovat

erilaisia kuin Maan veden. Linear-komeetta oli luultavasti syntynyt Jupiterin kiertoradan lähellä, jossa vesi on samanlaista kuin Maassa. Siellä syntyneissä komeetoissa on myös monimutkaisempia orgaanisia yhdisteitä. Jupiterin voimakas vetovoimakenttä estää komeettoja kasvamasta liian suuriksi. Pienet komeetat törmäsivät alkuaikojen maahan pienemmällä voimalla säästäten tuholta monet orgaaniset molekyylinsä. Tuomalla veden ja orgaaniset molekyylit Maahan komeetat ovat voineet saada elämän alkuun maapallolla (Mäkinen ym. 2001).

Tähtisumupilvet ovat täynnä orgaanisia molekyylejä

Tähän saakka avaruuden sumupilvistä on löytynyt 141 orgaanista yhdistettä radioteleskoopeilla ja infrapunaspektrometreillä. Molekyyleillä on omat värinsä ja aallonpituutensa. Orionin sumupilvestä on löytynyt vettä, hiilimonoksidia, formaldehydiä, metanolia, dimetyylieetteriä, syaanivetyä, rikkioksidia ja rikkidioksidia (Hetersheimer 2010).

450 valovuoden päässä Maasta sijaitsee molekyylipilvi nimeltään Taurus. Se on täysin tähdetön paikka, jossa lämpötila on -263°C. Sieltä on löytynyt vettä, metanolia ja hiilidioksidia. Orgaanisten molekyyliden löytyminen tähtien välisestä kylmimmästä paikasta muuttaa käsitykset siitä, että molekyyliden alkuperä on vain lämpimissä paikoissa (Than 2006).

Linnunratamme keskustasta on löytynyt sokeria, glykolialedehydiä, joka on pöytäsokerin osa. Glykolialedehydimolekyylit voivat yhdistyä riboosiksi, joka on DNA:n ja RNA:n rakenneosia.

Onpa linnunradaltamme löytynyt suunnaton alkoholipilvikin. Hyvä uutinen on, että alkoholipilvi on 463 miljardia kilometriä pitkä. Huono uutinen on, että se on metyylialkoholia, joka ei kelpaa juotavaksi (Cain 2006).

Kahtena viime vuotena sumupilvistä on löytynyt etyyliformiaattia, propyyliysyanidia, asetaamia, naftaleenia ja antraseenia, joka on toistaiseksi monimutkaisin avaruuspilvestä löytynyt aine. Antraseeni on prebioottinen eli kun siihen kohdennetaan ultraviolettisäteily, lisätään vet-

tä ja ammoniakkia, muodostuu aminohappoja (Iglesias-Groth 2010). Sagittariuksen pilvestä on löytynyt etyleeniglykolia, joka on autojen pakkasnestettä (Blue 2002). 12 miljoonan valovuoden päässä olevasta galaxista on löytynyt runsaita määriä tyypeä sisältäviä polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä. Nämä yhdisteet kuljettavat tietoa DNA:han ja RNA:han ja ovat tärkeä osa hemoglobiinia, klorofylliä, kofeiinia ja suklaata (Carey 2005).

Orgaanisten molekyylien perimmäinen lähde ovat punaiset jättiläistähdet. Ne ovat entisiä aurinkoja, jotka ovat kuluttaneet melkein loppuun vetynsä ja ovat romahtaneet, jolloin enää kuoressa palaa vety. Tämä palaminen aiheuttaa tähdessä ylimääräisen paineen, jolloin tähti tulee sata kertaa aurinkomme suuremmaksi. Punaisissa jättiläisissä on paljon hiiltä. Nämä hiilimolekyylit ovat samanlaisia kuin kynttilän liekissä muodostuen enimmäkseen aromaattisista hiilivedyistä. Tähtituuli (aurinkotuuli) puhaltaa nämä hiilivedyt avaruuteen muodostamaan molekyylipilviä kylmempään tähtien väliseen tilaan. Molekyylit osuvat pölyhitusiin ja jäätyvät. Ultravioletti- ja kosmiset säteet vievät prosessia eteenpäin. Lähellä olevan tähden synty voi höyrystää jään, jolloin molekyylit vapautuvat pilviksi, joista kehittyy monimutkaisempia molekyyliä.

Avaruuden aminohapot syntyvät kaasumaisen kappaleiden törmäyksistä. Lisäksi kaasussa on pieniä hitusia, jotka toimivat atomien laskeutumisen-, kohtaamisen- ja reaktiopaikkoina tuottaen molekyyliä. Hituset rakentuvat jääkerroksien päälle ja sisältävät orgaanisia perusmolekyyliä, kuten metanolia. Suuret molekyylit eivät näytä muodostuvan samalla tavalla atomi atomilta kuin pienet. Ne muodostuvat pienemmistä valmiista molekyyleistä liittymällä toisiinsa.

Muutama tuhat vuotta avaruudessa riittää pienten orgaanisten molekyylien kehittymiseen isoiksi molekyyleiksi. Esimerkiksi asetyleeni, jota löytyy punaisten jättiläistähtien ympäriltä, on perusta isompien molekyylien, kuten bentseenin, muodostumiselle (Kwok ym. 2000).

Yhdysvalloissa ja Euroopassa on tehty kokeita, joissa simuloitiin avaruuden olosuhteita

ultraviolettisäteilyineen ja kylmyyksineen. Yhdysvaltojen kokeessa veden, metanolin, ammoniakkin ja syaanivedyn sekoituksesta muodostui glysiiniä, seriiniä ja alaniinia. Euroopan kokeessa veden, metanolin, ammoniakkin, hiilimonoksidin ja hiilidioksidin sekoituksesta syntyi 16 aminohappoa ja useita muita yhdisteitä. Yhdysvaltojen kokeen johtaja Max Bernstein sanoi tuloksien perusteella, että aminohapot kirjaimellisesti satavat taivaalta. Aminohapot eivät vielä tarkoita elämää, mutta tekevät biokemiallisesti elämän alun helpommaksi kuin mitä aikaisemmin on luultu (Bernstein ym. 1995). Alle yhden mikrometrin kokoiset kappaleet eivät pala ilmakehässä vaan putoavat hellästi maahan (Henbest 1992).

Elämä on sinfonia, jossa nuottijärjestyksellä on merkitystä

Mitä on elämä? Tuntemamme elämä perustuu samaan geneettiseen koodaukseen ja biokemiaan riippumatta siitä, onko kyseessä virus vai *Homo sapiens*. Edellisestä käy ilmi, että avaruudessa on runsauden pula erilaisista orgaanisista molekyyleistä. Silti se ei vielä ole elämää. Toistaiseksi avaruudesta ei ole vielä pystytty osoittamaan elämälle tyypillistä järjestystä. Koshland esitti, että elämälle on tyypillistä seitsemän ominaisuutta: ohjelmointi (DNA), improvisaatio, lokerointi, energia, uudistuminen, sopeutuminen, kemiallinen kontrolli ja selektiivisyys (Koshland 2002). Yksinkertaistettuna, elämä on materiaallinen systeemi, joka uusiutuu, pystyy mutatoimaan ja jossa tapahtuu luonnollinen selektio (McKay 2004).

Poikkeava elämä

Voisiko elämä muilla planeetoilla perustua hiilen sijasta piihin? Toistaiseksi kaikissa avaruudesta löytyneistä yhdisteistä, joissa on yli kuusi atomia, ovat hiilikemiaa. Voisivatko solukalvon lipidien osat sekä DNA:n tai RNA:n emäkset sisältää fosforin sijasta arseenia? Arsenofileja on löydetty Kaliforniassa sijaitsevasta Mono Lake -järvestä, jossa arseenipitoisuudet ovat muille lajille toksisia. Muitakin äärimmäisiä olosuhteita kestäviä bakteereita on löydetty. Toiset

elävät hyvin syvällä valtamerien pohjassa lähellä purkautuvia tulivuoria, jolloin veden lämpötila voi olla miltei 120 °C. Näitä bakteereita kutsutaan hypertermofiileiksi. Toiset bakteerit voivat säilyä hengissä -20 °C:ssa, näitä kutsutaan psykoofiileiksi. Kuollessa meressä on oma ekosysteemiänsä, joka koostuu suolaa tarvitsevista halofiilibakteereista. *Aerovirgula multivorans* -bakteeri puolestaan käyttää ravinnokseen raseemista arabinosia standardi D-arabinoosin sijasta.

Maasta 2,8 kilometrin syvyydestä on löydetty bakteereja, jotka hajottavat uraanin avulla vesimolekyylejä energiakseen. Bakteerit kykenevät käyttämään aineenvaihduntaan rautaa, typpeä, rikkiä ja muita epäorgaanisia aineita. Jotkut bakteerit voivat elää ilman auringonvaloa. Nestemäinen vesi on kuitenkin ehdoton edellytys, että bakteerit voivat elää, kasvaa ja lisääntyä. Tutkijoiden mielestä 4 miljardia vuotta sitten maapallolla oli enemmän vettä kuin nykyisin. Princetonia yliopiston tutkijat ovat löytäneet maan alta 3 kilometrin syvyydessä eläviä bakteereita, jotka saavat energiansa mineraalien radioaktiivisesta säteilystä. Etelä-Afrikan kultakaivosten pohjavesistä on löydetty bakteereita, jotka käyttävät ravinnokseen pelkästään geologisesti valmistuvia vety- ja rikkidihydrideitä. Tutkijoiden mielestä samanlaista elämää saattaa löytyä muista maailmoista (Lin ym. 2006).

Etelämantereen jään sisästä on löytynyt bakteereita, jotka ovat olleet siellä ainakin 2 800 vuotta. Ne heräsivät eloon kun jää sulatettiin ja lisättiin vettä. Tutkijoiden mielestä jää on hyvä säiliö, jossa bakteerit voivat elää miljoonia vuotia (Doran ym. 2002). New Mexicon suolakristalleista on löytynyt itiöitä, jotka olivat 250 miljoonaa vuotta vanhoja ja herätettiin henkiin (Travis 1999). 25–50 miljoonaa vuotta vanhoista meripihkoista on löytynyt mehiläisen fossiileja, joiden sisällä oli bakteeri-itiöitä, jotka viljelemällä saatiin kehittymään eläviksi bakteereiksi (Cano ja Borucki 1995). Eräs tutkija on sitä mieltä, että jos *Eschericia coli* -bakteeri jäädytetään -263 °C:een ja jätetään siihen 11 miljardiksi vuodeksi ja sen jälkeen laitetaan glukoosiliuokseen, se herää henkiin 99 %:n varmuudella (Koerner ja LeVay 2000).

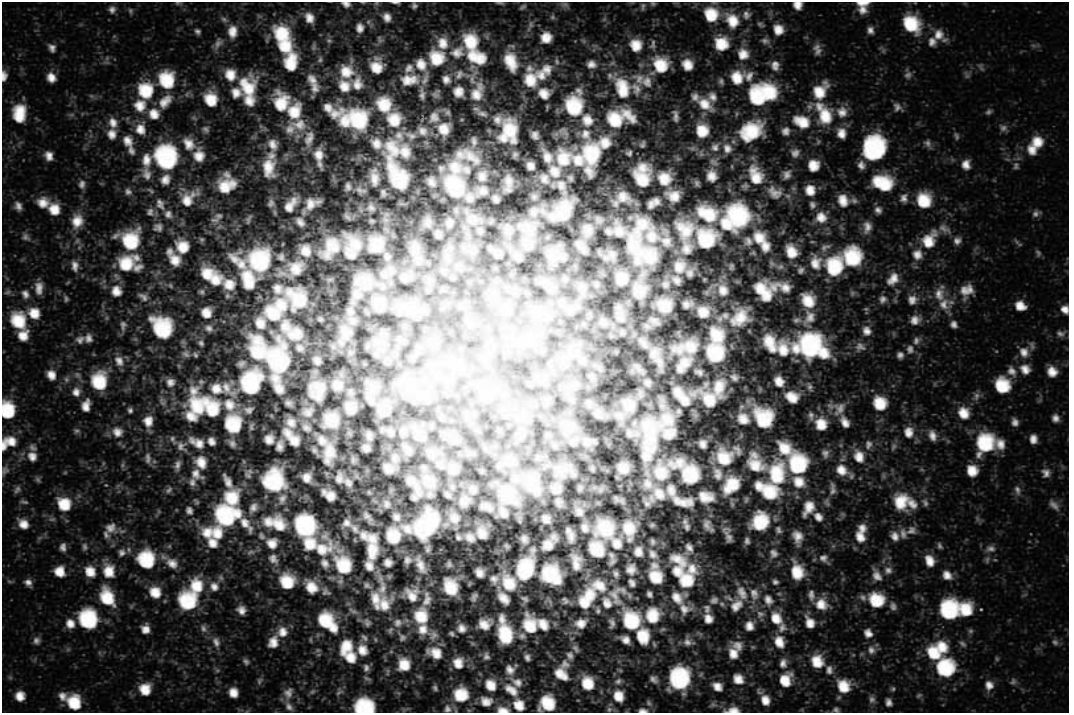
Etsiessämme avaruuselämää voisimme törmätä mitä erilaisimpiin elämänmuotoihin. Tällöin tutkimusmenetelmämme asettavat rajoitukset. Avaruusmikrobien ja elämän tutkiminen on vaikeaa, koska emme tiedä, millaista elämää avaruudessa voisi olla. Emme edes tiedä, kuinka monipuolista mikrobiekosysteemiä löytyy maapalloltakaan, sillä vain murto-osan bakteereista pystymme viljelemään laboratorio-olosuhteissa. Viljelykelpoiset bakteerit eivät edusta koko maapallon ekosysteemiä. Viljelyn sijasta voidaankin tutkia esimerkiksi 16S ja 18S rRNA-geenien emäsjärjestystä. Nämä geenit löytyvät kaikilta eläviltä organismeilta.

Mikrobit avaruudessa

Avaruuteen päässeet mikrobit menettävät planeetan ilmakehän suojan auringon säteilyä vastaan, ovat alttiina tyhjiölle, painovoiman puutteelle ja äärimmäisille lämpötiloille. Nestemäinen vesi ei säily suuressa tyhjiössä (alle 611.73 Pa). Jos bakteerit kestävät avaruusmatkan ja saapuvat sopivalle planeetalle, ne voivat lisääntyä siellä. Niille voi tulla kilpailua siellä jo olevan elämän kanssa ja ne voivat luovuttaa sinne DNA:ta.

Tupakkamaosaiikkiviruksista säilyy elinkykyisinä 82 %, *Bacillus subtilixen* itiöistä 45 %, *Aspergillus nigerin* itiöistä 28 % ja *Clostridium manganotin* itiöistä 25 %, kun niitä ammuttiin kokeellisesti protoneilla, joka vastaa 250 vuotta avaruusolosuhteissa (kylmyys ja tyhjiö). *Candida albicansista* säilyy 7 % 60 vuodessa (Koike ym. 1992).

NASA:n kokeessa *Salmonella enterica subsp. Typhimurium* -bakteereja altistettiin avaruuden säteilylle. Tuloksena kehittyi virulentimpi kantta. Vaikka säteily on tehokas tappamaan bakteereita vedessä ja ruoassa ennen elintarvikkeiden pakkaamista, voi avaruussäteily olla niin paljon vähäisempää, että se riittää vain tekemään bakteerit resistentimmiksi (Wilson ym. 2007). Toisessa kokeessa NASA tutki kuusi vuotta *Bacillus subtilixen* itiöiden kestävyttä avaruudessa. Glukoosi ja suolat suojasivat ultraviolettisäteilyltä itiöitä, joista 80 % säilyi hengissä (Horneck ym. 1994).



Pallomainen tähtijoukko. Kuva: Marko Kämäräinen.

Miehittämätön avaruusalus *Surveyor 3* laskeutui kuun pinnalle vuonna 1967. Aluksessa oli mukana televisiokamera. Yli kaksi vuotta myöhemmin 1969 Apollo 12:n astronautit menivät kuuhan. He ottivat palatessaan mukaan mainitun televisiokameran. NASA:n tutkijat yllättyivät löytäessään kamerasta eläviä *Streptococcus mitis* -bakteereita. Astronauttien varo-ohjeiden perusteella NASA:n tutkijat olivat vakuuttuneita, että kameran sisältä löytyneet bakteerit olivat olleet kamerassa jo ennen kuin *Surveyor* laskeutui kuun pinnalle (McLean ja McLean 2010).

Tyhjiö ei ole ongelma bakteereille, ei myöskään kylmyys tai nestemäisen veden puuttuminen. Kun bakteerilla on oikea suojarustus, ei jäätyminen tai kuivuus ole ongelma. Silloin bakteeri siirtyy uinuvaan tilaan (*suspended animation*). Ellei oikeita suojarustuksia (*protectants*) ole saatavilla, ensin kuolevista bakteereista saadaan muille suojarustus. Kuolleet bakteerit vapauttavat proteiineja, sokeria ja muita aineita, joista saadaan suojaa lopuille bakteereille.

Tällaisella kuivumisstrategialla bakteerit ovat säilyneet 4 800 vuotta Perun pyramideissa, 300 miljoonaa vuotta kivihiilessä ja 11 000 vuotta mastodontin suolessa.

Paksun suojuakuoren ansiosta bakteerien itiöt selviävät vielä tehokkaammin. Edes kiehuva vesi ei niitä tuhoa kohtuuajassa (Postgate 1994). Itiöiden säteilyn ja kuumen kestävyys johtuu vähentyneestä vesimäärästä, kuumalta suojaavilta proteiineilta sekä DNA-korjausentsyymeistä (Nicholson ym. 2005).

Tyhjiössä bakteerit kestävät kuumuutta paremmin kuin ilmakehässä. Kun *E. coli* -bakteerille annettiin lyhyt 250 asteen lämpöpulssi tyhjiössä, säilyi pieni määrä hengissä (Pavlov ym. 2007).

Röntgen- ja gammasäteily ovat elämälle tuhoisia. Ne katkovat kokonaisia DNA-ketjuja ja tuottavat vapaita hydroksyyliiradikaaleja, jotka tarttuvat DNA:han, valkuaisaineisiin ja solukalvon rasvoihin. Nopeasti jakautuvat solut ovat alttiimpia tälle säteilylle. Niihin kuuluvat verta

muodostavat solut luuytimessä ja suolen pinnan solut (Balasubramanian ym. 1998). Avaruudessa röntgensäteitä muodostuu mustissa aukoissa, neutronitähdistä, binääritähdistä, supernovan jäänteissä, auringossa ja jopa joissakin komeetoissa. Röntgensäteilyn aallonpituus on hyvin pieni ja sen käyttäytyminen muistuttaa enemmän hiukkasta kuin aaltoa. Maan ilmakehä suojaaa röntgensäteilyltä. *Deinococcus radiourans* on säteilykestävin bakteeri. Se sietää tuhat kertaa niin paljon säteilyä kuin ihminen. Säteilyn sieto johtuu ortofosfaatin ja mangaanin muodostamista yhdisteistä uridiinin ja peptidien kanssa. Nämä yhdisteet suojaavat erittäin voimakkaasti bakteerin proteiineja, mutteivät nukleotideja (Stone 2009).

Mikrobit kestävät huimaa kiihtyvyyttä. Ilmakiväärin luodin takaosaan sijoitettu *Deinococcus radiourans* -bakteerit tai *Bacillus subtilis* -bakteerit kestävät lähdön ja iskun maaliin, niin että 40–100 % säilyy hengissä riippuen luodin nopeudesta (100–300 m/s). Sentrifugissa *Bacillus subtilis* -bakteerit kestävät 436 000 g:n voiman. Avaruusrakettissa makuulla oleva ihminen kestää muutaman minuutin 17 g:n voiman. Mikrobit kestävät 2,5–25 kertaa suurempia kiihtyvyyksiä kuin mitä tarvitaan planeetan pinnalta lähtöön avaruuteen (Mastrapa ym. 2001). Meteorissa matkustava ja planeettaan iskeytyvä bakteeri kestää 45 GigaPascalin voimaisen iskun (Stöffler ym. 2007). Tutkijoiden mielestä kiihtyvyydellä ja iskuilla ei ole merkittävää vaikutusta bakteerien hengissä säilymiseen matkalla planeetalta toiselle.

Ultraviolettisäteily tuhoaa nukleotideja aiheuttamalla fotokemiallisia vaurioita DNA:n tyymiini- ja sytosiini-emäksissä. Tämä muuttaa DNA:n rakennetta estämällä polymeraasien toiminnan ja pysäyttäen replikaation. Ultravioletivalo aiheuttaa myös puriini- ja pyrimidiinimästen deaminaatiota ja renkaan hajoamista sekä muiden molekyylien, kuten veden, liittämistä niihin. Ultraviolettivoalo ei pysty katkaisemaan DNA-ketjua, kuten röntgensäteily. DNA on ultraviolettisäteilyn pääkohde, koska se on solun suurin molekyyli, sitä on vähän solussa ja se absorboi hyvin tehokkaasti ultraviolettivoaloa.

RNA:ta ja proteiineja ja solussa enemmän, jolloin näitä molekyyliä on vaikeampi inaktivoida suurempia määriä (Smith 2009). Jos ultraviolettivoalo vaurioittaa DNA:ta, pystyy solu korjaamaan vaurion erilaisilla mekanismeilla.

Kestävätkö prokaryootit eukaryootteja paremmin avaruutta?

1990-luvulla venäläisillä oli ongelmia homesientien kanssa 15 vuotta vanhalla *MIR*-avaruusasemalla. Homesienet kasvoivat sähkölaitteissa, metallissa, muovissa ja lasissa. Avaruusaseman pintoja jouduttiin jatkuvasti puhdistamaan. Aluksen pinnan paneelien alla oli jopa koripallon kokoisia määriä juoksevaa kondensoitunutta sameaa vettä, joka kuhisi mikrobeja. Veden lämpötila oli 28 astetta. Homeongelma oli niin vakava, että arvelujen mukaan home oli yksi syy, miksi *MIR* hylättiin. Avaruusaseman pinnoilta löytyi jopa pölypunkkeja ja ameba (Bell 2007).

Vuonna 2003 avaruussukkula *Columbia* tuhoutui onnettomuudessa 70 km:n korkeudella maan pinnasta, jolloin sen seitsemän astronauttia kuoli. *Columbia*-sukkulassa suoritettiin ennen sen tuhoutumista 80 erilaista tieteellistä koetta. Vaikka enemmistö koetuloksista tuhoutui sukulan hajotessa, niin osa tutkimutuloksista säilyi. Sukkulasta välitettiin radioteitse tietokonetuloksia kokeista. Muut tulokset löytyivät maahan pudonneen avaruusaluksen hajonneista kappaleista. Sukkulassa oli mukana matoja tutkimustarkoituksessa. Texasiin pudonneiden sukulan palasten joukosta löytyi satoja eläviä matoja, jotka olivat olleet sukkulassa. *Caenorhabditis elegans* -madot olivat 4 kg painavassa arkussa avaruusaluksessa. Madot olivat 6 kanisterissa, joissa jokaisessa oli 8 petrimaljaa (van Etten 2003).

Jäkälä kestää avaruussäteilyä, joka tuhoaa bakteerit. Kun *Rhizocarbon geographicum* ja *Xanthoria elegans* vietiin avaruuteen ja altistettiin 16 päiväksi säteilylle, niin maahan tuotuna niissä ei havaittu mitään muutoksia ultrastruktuurissa tai fotosynteesissä aktiviteetissa. Myöskään tyhjiön aiheuttama äärimmäinen dehydraatio ei haitannut, vaan ne toipuivat palattuaan 24 tunnissa (Sancho ym. 2007).

Karhukainen on 0,5 mm:n kokoinen vesieläin, joka uinuvassa tilassa (*suspended animation*) kestää lämpötiloja -253 °C:sta 151 °C:een sekä 6 000 ilmakehän paineen (Horikawa 2006).

Mikrobit kestävät hyvin avaruusmatkan. Onko planeettojen elämä saapunut avaruudesta tulleista mikrobeista vai avaruudesta satavasta orgaanisesta materiaalista vai molemmista, jää vielä selvitettäväksi.

Kirjallisuutta

- Balabramanian B, Pogozelski WK ja Tullius TD. *PNAS* 1998; 95(17): 9738-9743
- Bell TE ja Phillips T. http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2007/11may_locad3/
- Bernstein MB, Sandford SA, Allamandola LJ, Chang S ja Scharberg MA. *Astrophys J*. 1995, 454: 327-344.
- Blue C. <http://www.nrao.edu/pr/2002/antifreeze>
- Britt RR, Panspermia Q and A. <http://www.ufoevidence.org/documents/doc1963.htm>
- Cain F. <http://www.universetoday.com/8098/deep-space-alcohol/>
- Cano RJ, Borucki MK. *Science* 1995; 268: 1060-4.
- Carey B. <http://www.msnbc.msn.com/id/9740904/>
- Clinton B. <http://www2.jpl.nasa.gov/snc/clinton.html>
- Doran PT, Fritsen CH, McKay CP, Priscu JC ja Adams EE. *PNAS* 2003; 100(1): 26-31.
- van Etten P. *Science* 2003, 300: 897.
- Henbest N. <http://www.newscientist.com/article/mg13318053.300-science-organic-molecules-from-space-rained-down-on-earlyearth.html>
- Hettersheimer M. <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/03/100304102320.htm/>
- Horikawa D. *Cryobiol Cryotechnol* 2006, 52: 61-65.
- Horneck G, Bücker H ja Reitz G. *Adv Space Res*. 1994, 14: 41-45.
- Iglesias-Groth S, Manchado A, Rebolo R, Gonzalez Hernandez JI, Garcia-Hernandez DA ja Lambert DL. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2966.2010.17075.x/abstract>
- Jewell P. <http://www.physorg.com/news74184949.html>
- Kajander EO, Ciftcioglu N. Nanobacteria. *Procl Natl Acad Sci* 1998; 95:8274-9.
- Koike J, Oshima T, Koike KA ym. *Adv Space Res*. 1992; 12:271-4.
- Koerner D ja LeVay S. <http://www.019514600X/>.
- Koshland DE Jr. *Science* 2002; 295: 2215-6.
- Kwok S, Wolk K ja Bruke <http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=12846>
- Lin L, Wang P, Rumble D ym. <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/sci;314/5798/479>
- Mastrapa RME, Glanzberg H, Head JN, Melosh HJ ja Nicholson WL. *Earth Plan Sci Lett*. 2001; 189: 1-8.
- McKay CP. doi:10.1371/journal.pbio.0020302.
- McLean RJC ja McLean MAC. *J Cosmol*. 2010, 7: 1802-20.
- Mäkinen JT, Bertaux J, Combi RM ja Quemerais E. *Science* 2001; 292: 1326-29.
- Nicholson WL, Schuergener AC ja Setlow P. *Mutat. Res*. 2005, 571: 249-64.
- Overbye D. <http://www.nytimes.com/2010/09/30/science/space/30planet.html>
- Pavlov AK, Sheleghedin VN, Kogan VT, Pavlov AA, Vdovina MA ja Tretjakov AV. *Biofizika* 2007 52: 1136-40.
- Postgate J. http://dannyreviews.com/h/The_Outer_Reaches_of_Life.html
- Sancho LG, de la Torre R, Horneck ym. *Astrobiol*. 2007, 7: 443-54.
- Shoemaker, EM, Hassig PJ ja Roddy DJ. *Geophys Res Lett*. 1995; 22: 1825-28.
- Smith KC. <http://www.stanford.edu/~kendric/>
- Stone M. *Microbe* 2009, 4: 164-165.
- Stöffler D, Horneck G, Ott S ym. *Icarus* 2007, 186: 585-8.
- Than K. http://www.usatoday.com/tech/science/space/2006-08-08-organic-space_x.htm
- Travis. http://www.sciencenews.org/sn_arc99/6_12_99/fob3.htm
- Wainwright M, Wickramasinghe NC, Narlikar JV ja Rajaratnam P. *FEMS Microbiol Lett*. 2003; 218: 161-165.
- Wilson JW, Ott CM, Hoener K ym. *PNAS* 2007; 104(41): 16299-16304.

Kari Lounamo on lääketieteen lisensiaatti, tartuntatautilääkäri ja kaupungin epidemiologi.

Tamara Tuuminen on lääketieteellisen mikrobiologian dosentti ja kliinisen mikrobiologian laboratorion ylilääkäri.